

УДК 520.27

## РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА ДЛЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СИБИРСКОГО СОЛНЕЧНОГО РАДИОТЕЛЕСКОПА

Е.Ф. Иванов

## DESIGNING OF THE ANTENNA DIGITAL RECEIVER FOR THE UPGRADED SIBERIAN SOLAR RADI TELESCOPE

E.Ph. Ivanov

Модернизация Сибирского солнечного радиотелескопа с целью создания многоволнового радиогелиографа подразумевает установку в приемный тракт каждой антенны цифрового приемника. В данной работе представлена разработка такого приемного модуля. Разработанный приемный модуль обладает возможностью принимать два аналоговых сигнала от квадратурного смесителя (I и Q) и оцифровывать их при помощи 12-битных АЦП с максимальной скоростью 125 MSPS. Дальнейшая обработка производится при помощи микросхемы программируемой логики семейства ALTERA Stratix II. В состав приемного модуля также включен Ethernet-интерфейс для приема команд управления и передачи прошедших цифровую обработку данных на ПК. Кроме этого, в модуле предусмотрены выходы для передачи цифрового сигнала на коррелятор для совместной обработки сигналов от всех антенн инструмента с целью синтеза изображения Солнца.

Upgrade of the Siberian Solar Radiotelescope includes installation of digital receivers into each antenna for analog-to-digital conversion and data preprocessing. This paper, designing of such a device is presented. Designed digital receiver module contains two 12-bit 125 MSPS analog-to-digital converters to receive I and Q signals from I/Q mixer. Digital data from these ADCs then come to ALTERA Stratix II FPGA chip for preprocessing. The digital receiver module also includes the Ethernet interface for receiving control commands and transmitting preprocessed data to PC. Furthermore, the designed module has digital outputs to the correlator for coprocessing of data from all antennas to synthesize solar images.

### Введение

До настоящего момента в 10-элементном макете модернизированного Сибирского солнечного радиотелескопа (далее ССРТ) в качестве цифровых приемных модулей использовались отладочные платы фирмы Altera, имеющие в своем составе все необходимое для преобразования сигнала в цифровой вид, его цифровой обработки и передачи результата по локальной сети на регистрирующий компьютер. Однако в использовании этих плат есть ряд недостатков. Во-первых, отладочные платы разрабатываются как универсальный инструмент, способный охватить широкий спектр задач по цифровой обработке сигналов, и поэтому имеют в своем составе много компонентов, излишних в случае применения платы в качестве цифрового приемника на ССРТ. Это такие компоненты, как аудиокодек, VGA – интерфейс для подключения монитора, цифро-аналоговые преобразователи, избыточное количество различных типов памяти, а также избыточные возможности по подключению периферийных устройств. Во-вторых, отладочные платы созданы, в основном, для работы в единственном экземпляре. Соответственно, становится затруднительным объединить большое количество этих плат в массив по таким причинам, как несоответствие плат какому-либо форм-фактору, позволившему бы объединить их в кейт либо каким-нибудь другим способом; необходимость использования отдельного источника питания для каждой платы; неудобное расположение разъемов, не позволяющее располагать платы близко друг к другу. Целью работы была разработка цифрового приемника антенного сигнала модернизированного ССРТ, лишенного всех перечисленных недостатков. Кроме этого, данная работа имела еще одну цель – проверить возможность создания со-

временных радиоэлектронных устройств своими силами, на базе ССРТ, не заказывая разработку и изготовление сторонним организациям.

### Модуль цифрового приемника

Разработанный модуль цифрового приемника выполнен в форм-факторе «Евромеханика» (Eurocard) и предназначен для установки в кейт высотой 6U. Питание модуля осуществляется от источника питания кейта. Однако модуль не поддерживает работу с какими-либо шинами, обычно используемыми в кейтах «Евромеханика» (самая распространенная из таких шин – VME). Преимущество такого решения заключается в том, что не требуются дополнительные модули, такие как контроллер и арбитр, необходимые для работы шины VME. Как следствие – модуль является автономным, может работать в кейте как в одиночку, так и совместно с другими такими же модулями. При совместном использовании модулей в кейте пользователь сам имеет возможность организовать связь между ними посредством кросс-платы кейта нужным ему способом. Осуществляется это путем конфигурирования и программирования ПЛИС (программируемой логической интегральной схемы), входящей в состав модуля. Также модуль может использоваться без кейта, как самостоятельное устройство, с собственным источником питания.

Внешний вид модуля и расположение основных компонентов показано на рисунке. Модуль имеет два аналоговых входа, сигнал с которых подается на два аналого-цифровых преобразователя (АЦП). Оба АЦП имеют разрядность 12 бит и максимальную скорость работы 125 MSPS. Тактирование каждого АЦП осуществляется от ПЛИС, частота тактирования

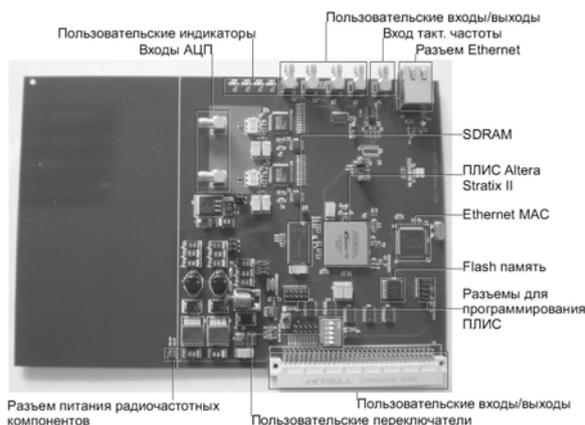


Рис. Внешний вид приемного модуля и расположение основных элементов модуля на плате.

выбирается путем конфигурирования ПЛИС. Цифровой сигнал с выходов АЦП поступает на чип ПЛИС. Это микросхема семейства Stratix II производителя Altera, эквивалентная логическая емкость которой составляет ~60 000 логических элементов. Микросхема может быть сконфигурирована пользователем исходя из задач, при помощи программной среды Quartus II. Логическая емкость ПЛИС позволяет реализовать с ее помощью как цифровую обработку принимаемых сигналов (цифровое гетеродинирование, преобразование Фурье, цифровую фильтрацию и др.), так и функции процессора, а также прочие сервисные и коммуникационные функции. Для работы с сетью Ethernet модуль имеет в своем составе Ethernet-интерфейс, а также 16 Мб памяти SDRAM, которая может использоваться процессором при работе с сетью и выполнении других задач, требующих большого количества памяти. Также модуль имеет 4 пользовательских входа/выхода с кабельными SMA-разъемами. Кроме этого, в состав модуля входят Flash-память для хранения конфигурации ПЛИС и исполняемых программ в случае реализации на ПЛИС процессора, 4 пользовательских индикатора, пользовательские переключатели. Тактирование модуля осуществляется через кабельный вход синхрочастоты, однако если модуль используется как автономное устройство, вместо входа синхрочастоты может быть установлен кварцевый генератор.

Примерно треть печатной платы модуля свободно от компонентов и соединительных дорожек. Это пространство может использоваться для монтажа аналоговых радиочастотных компонентов, таких как оптический приемник, усилитель радиочастоты, гетеродин, смеситель, аналоговые антиалиасные фильтры и т. д. Для этого модуль имеет разъемы питания радиочастотных устройств с напряжением 12 В. Такое решение позволяет существенно сэкономить место, что актуально при использовании большого количества приемных модулей, например, у радиоинтерферометра с большим количеством антенн. Весь приемный комплекс радиоинтерферометра становится более компактным, отпадает необходимость в линиях связи между аналоговой частью приемника и цифровой. Однако при таком расположении радиочастотных компонентов необходимо провести дополнительные исследования влияния

аналоговой и цифровой частей друг на друга, которое может внести дополнительные помехи и, следовательно, ухудшить итоговое отношение сигнал/шум для принимаемых сигналов. Также может ухудшиться развязка между каналами расположенных рядом в крейте модулей.

### Применение цифрового приемника

В радиоастрономии разработанный приемный модуль может использоваться как в радиометрах с одиночными антеннами, так и в радиоинтерферометрах. Скорость работы АЦП позволяет принимать радиосигналы с полосой до 62 МГц. Два входа позволяют использовать модуль для различных целей, таких как прием I- и Q-составляющих сигнала от одной антенны при использовании I/Q-смесителя; прием одновременно правой и левой круговой поляризации от одной антенны; прием сигналов от двух антенн при использовании смесителей с подавлением зеркальной полосы. При работе в составе радиоинтерферометра может быть собран массив из необходимого количества приемных модулей. Наличие входов тактовой частоты позволяет сделать работу всех модулей и их АЦП синхронной. А наличие пользовательских входов-выходов позволяет передать прошедший первичную обработку сигнал далее на коррелятор для синтеза радиоизображений.

Приемный модуль может использоваться не только в радиоастрономии, но и в других областях науки, где ставятся задачи приема, цифровой обработки и регистрации сигналов. Кроме того, разработанный модуль может использоваться как отладочное средство для проведения экспериментов, а также как обучающее средство при освоении принципов работы с программируемой логикой, алгоритмов ЦОС и др.

### Заключение

В настоящий момент собран один экземпляр модуля. Все работы по проектированию и сборке, включая поверхностный монтаж компонентов, в том числе в корпусах BGA, были выполнены на базе ССРТ. Тестирование модуля не выявило никаких ошибок проектирования, а также дефектов монтажа, несмотря на то что монтаж производился ручными инструментами. Исходя из этого, можно сделать вывод, что разработку и мелкосерийное производство достаточно современных электронных устройств для нужд ССРТ можно выполнять своими силами на базе ССРТ, без привлечения сторонних предприятий или конструкторских бюро.

Работа выполнена при поддержке РАН (Программа «Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце-Земля»).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Занданов В.Г. и др. 10-антенный макет радиогелиографа на базе Сибирского солнечного радиотелескопа // Солнечно-земная физика. 2008. Вып. 12. Т. 1. С. 71–73.
2. [http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/42-02/clock\\_optimization.pdf](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/42-02/clock_optimization.pdf)

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск